

ОБРАБОТКА ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

*Д.А. Иванов, доц., О.Н. Засухин, зав. лаб.
Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова*

Рассматриваются вопросы повышения ударной вязкости высокопрочной конструкционной стали методом обработки дозвуковым низкочастотным пульсирующим газовым потоком с дополнительным ударным воздействием стальных пустотелых шариков.

Результаты механических испытаний показали, что обдув с ударным воздействием колеблющихся в газовом потоке пустотелых стальных шариков способствует развитию отпускных процессов в закаленном изделии и повышению его надежности.

Успешно апробирован метод для повышения упругих свойств стальных витых пружин. Сравнительные исследования показали, что в результате обработки увеличение релаксационной стойкости пружин сжатия составило 20 %, пружин растяжения — 50 %, торсионных пружин — в 2,6 раз.

В качестве высокопрочных нашли промышленное применение легированные конструкционные улучшаемые стали, в том числе такие как сталь 40Х.

Высокопрочное состояние достигается закалкой на мартенсит, а уменьшение хрупкости и частичное снятие остаточных закалочных напряжений — отпуском при температуре 200–250 °С продолжительностью 1,5–2 часа. В процессе эксплуатации изделия, подвергнутые термической обработке на высокопрочное состояние, испытывают не только статические, но и динамические нагрузки. Актуальной является задача повышения ударной вязкости высокопрочной конструкционной стали при сохранении высоких значений показателей твердости и прочности.

Для решения данной задачи представляется целесообразным использовать обработку дозвуковым низкочастотным пульсирующим газовым потоком (газоимпульсную обработку) как недорогое, экологически чистое средство воздействия на структуру, напряженное состояние и механические свойства металлических изделий [1–6].

Было проведено исследование влияния газоимпульсной обработки с дополнительным ударным воздействием стальных пустотелых шариков на



структуру и свойства стандартно закаленных образцов из стали 40Х. Длина рабочей части образцов составляла 55 мм, ширина — 4 мм, толщина — 2 мм.

Вдоль плоской поверхности образца размещались пустотелые стальные шарики, в одном случае диаметром 2,4 мм, а в другом — 3,2 мм. Затем образцы устанавливались на выходе из резонатора газоимпульсной установки плоскостью с шариками навстречу газовому потоку. Обдув осуществлялся пульсирующим воздушным потоком частотой 1130 Гц и звуковым давлением 120 дБ в течение 15 минут, процесс сопровождался колебаниями стальных шариков возле поверхности образцов и упругим ударным взаимодействием с ней.

Общий принцип газоимпульсной обработки с дополнительным ударным воздействием стальных пустотелых шариков следующий: вблизи поверхности металлического изделия размещают пустотелые стальные шарики, которые, колеблясь в газовом потоке с частотой, сопоставимой с пульсациями давления самого потока, упруго взаимодействуют с поверхностью изделия, передавая последнему свою кинетическую энергию и вызывая в нем распространение (в дополнение к плоским) сферических механических волн, оказывающих дополнительное влияние на микроструктуру и свойства металла.

Принципиальным отличием метода от дробеструйной обработки является отсутствие макропластической деформации поверхности изделия, что делает данную технологию пригодной для обработки тонкостенных изделий и изделий с высокой чистотой поверхности.

Сферические волны возбуждаются точечным источником, представляющим собой колеблющееся тело, размеры которого малы по сравнению

с расстоянием до рассматриваемых точек среды и наиболее просто их возбудить с помощью небольшой пульсирующей сферы.

При распространении сферической волны ее волновые поверхности представляют собой систему концентрических сфер.

Интенсивность сферической волны убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. При этом наибольшему воздействию подвергаются поверхностные слои металлического изделия. На значительном расстоянии от источника сферическую волну можно рассматривать как плоскую.

Поскольку сферические волны в нашем случае генерируются большим количеством источников, происходит наложение волн, что усиливает их воздействие на дислокационную структуру металлического материала.

Результаты механических испытаний показали, что наибольшая ударная вязкость закаленных стальных образцов наблюдается в случае применения шариков диаметром 2,4 мм, несколько ниже — при использовании более крупных шариков диаметром 3,2 мм и еще несколько ниже в случае газоимпульсной обработки без использования шариков. У закаленного образца, не подвергнувшегося газоимпульсной обработке, при динамическом воздействии наблюдалось хрупкое разрушение с фрагментацией на три части.

На фотографии (рис. 1) приведены изломы закаленных образцов из стали 40Х после испытания на динамический изгиб без газоимпульсной обработки, и после нее с дополнительным ударным воздействием колеблющимися в пульсирующем воздушном потоке стальными пустотелыми шариками диаметром 2,4 мм.

Во втором случае по структуре излома заметно, что разрушению предшествовала пластическая деформация, более значительная, чем обычно наблюдается у образцов, подвергнутых не только закалке, но и последующему низкому отпуску. Значение твердости исследуемых образцов составляло 54 единицы HRC. После газоимпульсной



Рис. 1. Сталь 40Х. Изломы образцов после испытания на динамический изгиб:

а — закалка; *б* — закалка и последующая газоимпульсная обработка с дополнительным воздействием колеблющимися в пульсирующем воздушном потоке стальными пустотелыми шариками диаметром 2,4 мм

обработки с ударным воздействием стальными пустотелыми шариками диаметром 2,4 мм значение твердости снизилось до 51 единицы HRC. Потеря твердости в среднем на 3 единицы HRC означает протекание отпускных процессов, более интенсивное, чем при обычной газоимпульсной обработке закаленных стальных образцов [4, 6].

Таким образом, обдув с дополнительным ударным воздействием пустотелыми стальными шариками диаметром 2,4 мм в большей степени способствует развитию отпускных процессов в закаленном изделии и повышению его надежности, по сравнению с обдувом без использования шариков при одинаковой продолжительности процесса (около 15 мин).

В случае газоимпульсной обработки изделий, обладающих значительной поверхностью, шарики размещаются в несколько рядов.

Основываясь на приведенных данных можно сделать вывод о достаточной эффективности использования вышеописанной обработки как дополнения к стандартной закалке деталей машин из легированных среднеуглеродистых сталей, термообработываемых на высокопрочное состояние.

В технике широко применяются стальные пружины, изготовленные из патентованной холоднотянутой стальной проволоки (СТ 65, 65Г, 70, У8, У10) диаметром 0,15–6 мм. Пружины после холодной навивки подвергаются отпуску 210–320 °С для снятия остаточных напряжений, повышения предела упругости и релаксационной стойкости. Пружины должны обладать высоким сопротивлением релаксации напряжений и стойкостью к остаточной деформации при длительном упругом нагружении.

Повышение упругих свойств стальных витых пружин также достигается обработкой пульсирующим газовым потоком по предложенному методу. Для этого готовую стальную витую пружину растяжения или сжатия в упруго нагруженном состоянии существенно ниже значения предела упругости размещают на выходе из резонатора установки, создающей дозвуковой пульсирующий воздушный поток с частотой 1130–2100 Гц и звуковым давлением 120–140 дБ при комнатной температуре.

Так, стальные витые пружины растяжения и сжатия из сталей 70 и 65Г для лучшей релаксации остаточных напряжений размещали на выходе из резонатора установки, поперек потока и подвергали их обработке продолжительностью 10–15 минут.

Затем пружины, подвергнутые воздействию пульсирующего дозвукового воздушного потока, и не подвергавшиеся подобной обработке в течение более чем трех недель находились в

упруго нагруженном состоянии. Сравнительные испытания показали, что в результате обработки по заявляемому способу увеличение релаксационной стойкости пружин сжатия составило около 20 %, а пружин растяжения — 50 %.

Аналогичные исследования были проведены для оценки влияния газоимпульсной обработки на релаксационную стойкость торсионных пружин.

Торсионные витые пружины из стали марки 70 имели первоначальный угол 49°. Обработка пульсирующим дозвуковым воздушным потоком частотой порядка 1700 Гц и звуковым давлением порядка 130 дБ осуществлялась в течение 15 мин. Направление обдува было перпендикулярно плоскости изгиба пружины в процессе ее эксплуатации. В результате воздействия последующей упругой деформации до угла 90° в течение 4 недель, после снятия нагрузки у необработанной торсионной пружины угол изгиба составил 72°, у обработанной — 58°, т. е. остаточная деформация необработанной пружины — 23°, а у обработанной — 9° (в 2,6 раза меньше). Влияние пульсирующего дозвукового воздушного потока на релаксационную стойкость стальных витых пружин представлена в таблице.

Влияние пульсирующего дозвукового воздушного потока на релаксационную стойкость витых пружин

Вид пружины	Материал пружины	Остаточная деформация пружины	
		необработанной	обработанной
Растяжение	Сталь 65Г	3 мм	2,5 мм
Сжатие	Сталь 70	1 мм	0,5 мм
Торсионная	Сталь 70	23°	9°

Процесс уменьшения остаточных растягивающих напряжений на поверхности металлических изделий можно интенсифицировать путем увеличения скорости натекающего на изделие газового потока без существенного изменения амплитудно-частотных характеристик. В ходе исследования было изменено расположение обдуваемой пружины растяжения, ранее размещавшейся на выходе из успокоительной камеры

установки, с помещением ее на кольцевое щелевое сопло вблизи рассекателя веерной струи, получив не менее чем трехкратное увеличение скорости воздушного потока, натекающего на изделие. В результате продолжительность газоимпульсной обработки, необходимой для повышения упругих свойств пружинного изделия, уменьшилась с 10–15, до 5 мин.

Таким образом, воздействие пульсирующего дозвукового воздушного потока способствует релаксации остаточных напряжений в пружинах, а также оказывает благоприятное для упругих свойств воздействие на подвижность дислокаций, что в результате приводит к повышению упругих свойств стальных витых пружин.

Литература

1. *Иванов Д.А.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных сталей путем импульсного воздействия при отпускном охлаждении // Двигателестроение. — 2005. — № 4. — С. 30–32.
2. *Иванов Д.А.* Повышение конструктивной прочности материалов за счет воздействия пульсирующих дозвуковых низкочастотных газовых потоков. — СПбГУСЭ, 2008. — 123 с.
3. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Газоимпульсная обработка машиностроительных материалов без предварительного нагрева // Двигателестроение. — 2010. — № 2. — С. 20–22.
4. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных материалов в результате сочетания термической и газоимпульсной обработки // Двигателестроение. — 2012 — № 3. — С. 12–15.
5. *Булычев А.В., Иванов Д.А.* Воздействие газоимпульсной обработки на структуру, свойства и напряженное состояние металлических изделий // Технология металлов. — 2013. — № 11. — С. 30–33.
6. Пат. 2506320 С1 Российская Федерация, (51) МПК С21D 1/78. Способ термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние / Иванов Д.А., Засухин О.Н., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. — №. 2012125788/02, заявл. 20.06.2012, опубл. 10.02.2014, Бюл. №4. — 3 с.